

Teoría de las catástrofes y teoría financiera

Carlos Eduardo Maldonado

Profesor Investigador, CIPE

Universidad Externado de Colombia

E-mail: carlos.maldonado@uexternado.edu.co

Artículo del Proyecto de investigación "Sociedad del conocimiento, sistemas complejos y dinámica financiera". Línea Teoría Financiera del Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas.



1. INTRODUCCIÓN

La economía clásica es, sencillamente, la síntesis entre psicología y matemáticas¹. Esta simple ecuación ha conducido, sin embargo, a que los economistas hayan perdido su norte debido al énfasis grande que dieron, en un momento determinado, a las matemáticas. Existen claras y sólidas razones de tipo al mismo tiempo históricas, culturales y psicológicas por las cuales tuvo lugar este giro. Pero ese no es el tema que nos ocupa aquí, tanto menos cuanto que la economía —y con ella, las finanzas—, ha tomado un rumbo diferente, aun cuando no sea todavía mayoritario. Por su parte, las finanzas se han desarrollado, en cierto modo en paralelo, pero también como una ramificación independiente de la economía en general. Ellas han estado marcadas fuertemente por el mismo espíritu que aquejó a la economía neoclásica. En ambos casos, existe una mala comprensión de lo que, a su vez, le ha sucedido a las matemáticas.

La historia de las matemáticas se divide en dos grandes momentos en la historia del pensamiento humano. De un lado, como el cronológicamente más largo y culturalmente el más extendido, las matemáticas nacieron y se desarrollaron como un pensamiento específicamente

cuantitativo. Exactamente en este sentido, durante dos mil quinientos años, sólo existió la matemática (en singular). Sus contenidos estuvieron determinados por ecuaciones, números, teoremas, demostraciones, fórmulas y datos numéricos. Sus áreas fueron la aritmética, el álgebra lineal y el álgebra no lineal, el cálculo integral y el cálculo diferencial, así como la estadística. Hubo y hay ramificaciones al interior de éstas, pero no es relevante aquí entrar en ellas.

De otra parte, hacia comienzos del siglo XX comienza a desarrollarse el segundo gran momento en la historia de la matemática. El contexto en el que nace éste es la discusión, álgida pero fundamental, que se da entre matemáticos y filósofos, principalmente, acerca de la naturaleza de las matemáticas. El debate consistía en establecer si las matemáticas son una ciencia o bien un lenguaje. Algunos de los nombres que participaron en este debate en esa época son: L. Wittgenstein, D. Hilbert, H. Poincaré, B. Russell. El resultado de ese debate es conocido y merece subrayarse: *las matemáticas no son una ciencia, sino un lenguaje*. De hecho, la ruptura entre los dos grandes momentos de la historia de las matemáticas tiene una expresión puntual, sencilla, pero de inmensa envergadura. Hacia el pasado,

Artículo recibido el 17 de mayo de 2006. Aceptado el 14 de junio de 2006.

¹ Este texto corresponde a un avance de una investigación que adelanto en el CIPE de la Universidad Externado de Colombia. Quiero expresar mis agradecimientos a mis amigos y colegas del CIPE, a los integrantes del grupo ODEON, y de manera muy especial también a mis amigos y colegas de la línea de investigación sobre “Sistemas complejos, política y gobernabilidad” del grupo OPERA, también del CIPE.

existe *la* matemática, cuya naturaleza es esencialmente cuantitativa. Hacia delante, por el contrario, existen *las* matemáticas –no ya una sola-. El rasgo determinante de las matemáticas estriba en que, al lado de la cuantificación básica, surgen las matemáticas *cualitativas*.

Estas matemáticas son denotadas de diversa manera, pero el modo genérico es el de matemáticas *modernas*. El punto de inflexión de las nuevas matemáticas es la formulación y el desarrollo de la topología, con figuras que van desde H. Poincaré –su padre-, hasta S. Smale, por ejemplo. La topología introduce un nuevo tipo de razonamiento, de herramientas y de lógica en la matemática.

Como quiera que sea, las matemáticas modernas o cualitativas se articulan en tres grandes dominios, así: la teoría de grafos, el análisis combinatorio y el estudio de los sistemas dinámicos. La teoría de grafos es conocida como geometría de los estados. Existen aquí grafos simples, multigrados, grafos conexos y el estudio de ciclos. Por su parte, el análisis combinatorio parte de la distinción primaria y fundamental entre problemas P y problemas N-P, gracias a lo cual cabe distinguir entre problemas relevantes y no relevantes. Finalmente, el estudio de los sistemas dinámicos es, propiamente hablando, el que se dedica a los temas propios de la complejidad¹, esto

es, de aquellos fenómenos caracterizados por irreversibilidad, inestabilidades, fluctuaciones, emergencia y autoorganización, entre otros rasgos.

Quisiera dejar aquí de lado la teoría de grafos para concentrarme en el análisis combinatorio y en los sistemas dinámicos, pues existen fuertes implicaciones recíprocas entre ambos de cara al estudio de los fenómenos, sistemas y comportamientos que sufren cambios, evoluciones, transformaciones, incluso irreversibilidad. En fin, se trata del estudio de los fenómenos caracterizados por impredecibilidad.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS CATÁSTROFES

Existen, por así decirlo, dos grandes comprensiones acerca de los fenómenos caracterizados por inestabilidades, fluctuaciones, impredecibilidad, emergencia y autoorganización. De un lado, I. Prigogine, pero también en general el grupo de teóricos e investigadores del Instituto Santa Fe (SFI) en Nuevo México, así como los desarrollos propios del grupo que gira alrededor del New England Complex System Institute (NECSI) en New England defienden una posición marcadamente ontológica. Los fenómenos, el mundo y la naturaleza existen y exhiben comportamientos ontológicamente irreversibles,

² He trabajado más ampliamente estas relaciones en Maldonado, C. E., “Ciencias de la complejidad: ciencias de los cambios súbitos”, en: *Odeón. Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas*, Universidad Externado de Colombia, 2005, págs. 85-125.

complejos, caóticos y de naturaleza fractal. Para todos ellos, las descripciones deterministas (o determinísticas) elaboran mapas imprecisos acerca del mundo en general. Por otro lado, en marcado contraste con los anteriores, R. Thom desarrolla una teoría —la teoría de las catástrofes— cuya premisa fundamental es la de que los conceptos antes mencionados son relativos a una determinada *descripción epistemológica*. Así, para Thom —como por lo demás también para los teóricos de las catástrofes, partiendo también de Zeeman—, si tiene sentido hablar de turbulencias, emergencias, no-linealidad y demás, es tan sólo relativamente a la descripción que se adopta, y no en general para el mundo o para todos y cada uno de los fenómenos del mundo, y ni siquiera para las ciencias en general. Esta tesis conduce a Thom a formular un verdadero programa de investigación científica y filosófica. Este programa es el del desarrollo de una teoría general de modelos, atendiendo al hecho específico de que cada modelo es pertinente a cada descripción, y que, adicionalmente, esta teoría general de modelos —la teoría de las catástrofes—, es distinta según si trabaja en el área de las matemáticas, en física o química, en sociología o en epistemología. La forma genérica como se enuncia este programa es como el estudio de las relaciones entre *morfogénesis y estabilidad estructural*.

La visión generalizada es la de que la teoría de las catástrofes es un campo o una rama de las matemáticas, no sólo debido a la formación del padre de esta teoría —René Thom—, sino también gracias a las expresiones y estructuras de la misma. Esta visión es, a simple vista, parcialmente acertada.

R. Thom (1923-2002) es un matemático francés que se formó trabajando en topología. Las ideas pioneras de la topología fueron expuestas por H. Poincaré a comienzos del siglo XX, pero tan sólo en los años sesenta ésta adquirió un desarrollo propio, particularmente gracias a S. Smale, quien en el Congreso Mundial de Matemáticas celebrado en Moscú en 1966, recibió la Medalla Fields por parte de Congreso Internacional de Matemáticos, gracias precisamente a sus trabajos en topología³.

De acuerdo con Thom, su interés fundamental es el de alcanzar una teoría morfológica, esto es, una teoría de las formas. Al respecto, hay que decir varias cosas. En primer término, que esta teoría logra un avance verdaderamente significativo gracias a los trabajos de Thom y, sin embargo, permanece hasta la fecha aún como un proyecto o una tarea por realizar. Segundo: esta tarea es de la más grande importancia para las posibilidades, ulteriores, de una teoría general de la vida

³ La historia personal de Smale, la forma en que desarrolla y da nacimiento propiamente dicho a la topología y, asimismo, la forma en que la topología contribuye al estudio del caos, una de las ciencias de la complejidad, puede verse en el hermoso libro de Gleick (1988).

—una teoría inexistente aún—, una biología teórica, o la filosofía de la biología —tres maneras de designar un mismo y solo problema—⁴. Tercero: La idea de una teoría morfológica es formulada originariamente por C. H. Waddington, uno de los biólogos teóricos más importantes, quien, por lo demás, escribe el prólogo del libro más importante de Thom, *Estabilidad estructural y morfogénesis*. Lo que hace Thom es desplegar la idea de una teoría morfológica con implicaciones claras al mismo tiempo de orden epistemológico, filosófico y matemático. En cualquier caso, la teoría de las formas a la que aspiraba Thom es, sin lugar a dudas, un proyecto magnífico cuyos alcances se sentirán en prácticamente todos los dominios del conocimiento. Ya volveremos al respecto.

A partir de la topología algebraica nacen la cohomología —el estudio de las formas imposibles—, los estudios sobre espacio fibrado, y el espacio clasificador, entre otros.

Un capítulo central en el abordaje de la teoría de las catástrofes es el cobordismo, el cual se ocupa de saber cuándo dos variedades constituyen precisamente el límite común de una misma variedad. Por ejemplo, si se tienen dos espacios diferentes —que se denominan dos variedades diferentes—, el problema consiste en cómo unirlos con una especie de deformación

continua. Pues bien, la respuesta es precisamente la de la construcción de “cobordismo” entre las dos variedades. Gracias a la teoría del cobordismo, Thom recibe la Medalla Fields en 1958.

En una palabra, las preocupaciones de Thom son, estrictamente, de naturaleza geométrica, no obstante el dominio que tiene de la topología algebraica y, en general, de los métodos algebraicos. De este modo, el mérito de la obra de Thom consiste en enseñarnos a pensar de un modo geométrico. Sólo que la geometría en la que pensamos es, *cultural, científica y filosóficamente*, no ya la geometría de sólidos perfectos de Euclides, sino la geometría de sólidos imperfectos —de la cual aquella es tan sólo una parte o un componente— y, más exactamente, una *geometría del cambio*. De ahí la necesidad de la topología en general, y de la teoría de las catástrofes, en particular. Dicho puntualmente: las catástrofes no comportan la destrucción del sistema, aunque lo afectan —como veremos posteriormente—, cualitativa, estructural y funcionalmente.

La teoría de las catástrofes se origina en la idea del “despliegue universal” de la singularidad de una aplicación, lo cual, en rigor, significa una crítica fuerte al ideal aristotélico de ciencia y, por consiguiente, occidental, tal y como tradicionalmente se ha entendido a la ciencia. El despliegue

⁴ Al respecto, véase Maldonado, C. E., “El problema de una teoría general de la complejidad”, en: Maldonado (2006).

universal quiere decir que se *despliega* toda la información intrínseca encerrada en una singularidad. A su vez, una singularidad de una aplicación, sostiene Thom, es “siempre algo que concreta toda una estructura global en una estructura local” (Thom, 1993: 32). Una manera análoga de considerar esta idea es la de atender no ya a lo universal y lo particular, sino, más radicalmente, a lo universal *de* lo particular. Pues bien, por este camino la teoría de las catástrofes se encuentra o coincide con la teoría del caos, dado que lo común a ambas consiste en mostrar, por primera vez en la historia de la humanidad occidental, que no solamente es posible, sino incluso deseable y necesaria, una ciencia de lo particular. En el caso del caos, como motivo de partida, el estudio de la meteorología, y en el caso de las catástrofes, la consideración del despliegue universal de una singularidad de aplicación. De esta suerte, la idea de origen aristotélico, según la cual la ciencia sólo es (posible como) ciencia de lo universal, se quiebra en mil pedazos. La complejidad reside en lo universal de lo particular, si bien no toda singularidad es universal o contiene —de modo que pueda ser posible un despliegue—, universalidad.

En otras palabras, y es algo sobre lo cual Thom insistió recurrentemente a lo largo de su vida, después del desarrollo de

la teoría de las catástrofes, ésta se inicia en la matemática, pero no es matemática. Más exactamente, es un *lenguaje*, a saber: el lenguaje que se ocupa de —que describe, con el rigor del pensamiento matemático—, los fenómenos que cambian drásticamente, súbitamente. En verdad, hasta el desarrollo de la teoría de las catástrofes —y en el panorama más amplio de las ciencias de la complejidad (cfr. Maldonado, 2005) igualmente hasta el desarrollo también, casi contemporáneamente, de la teoría del caos—, la ciencia occidental carecía de un lenguaje “científico” (esto es, no mítico ni narrativo) que diera cuenta de los cambios repentinos e inesperados. Los cambios súbitos e impredecibles son explicados en términos de y como catástrofes (Y en el caso del caos, gracias a la identificación de, y el trabajo con, atractores extraños). Es notable que lo que afirma Thom respecto a la teoría de las catástrofes vale igualmente para otra teoría que se ocupa de fenómenos complejos e irreversibles: la teoría de la bifurcación, contemporánea con aquella otra⁵. En efecto, sostiene Thom:

“La teoría de las catástrofes no es una teoría científica en el sentido corriente del término (...) es decir, [en el sentido de que] se puedan aducir argumentos experimentales en su favor. (...). Yo diría más bien que se trata de una *metodología* o acaso de una especie de lenguaje, que permite organizar

⁵ La teoría de las bifurcaciones fue desarrollada originalmente por varios integrantes de la denominada Escuela de Bruselas, cuyo pivote era I. Prigogine. De estos integrantes, el más reconocido es Nicholis, con quien, por lo demás, Prigogine escribiría la *Estructura de lo complejo*, Madrid, Alianza, 1987.

los datos de la experiencia en las condiciones más diversas” (Thom, 1993: 65)⁶.

En efecto, desde este punto de vista, consiguientemente, “la teoría de las catástrofes es cualitativa, no cuantitativa” (Woodcock y Davis, 1994: 20). “La ciencia es posible sólo si las observaciones y los resultados son *cualitativamente* repetibles” (*idem*: 23). Esta idea es, *a fortiori*, tanto más verdadera cuando nos ocupamos del núcleo de la ciencia, que es el desarrollo de, el trabajo con y la validación misma de, la teoría —de una teoría científica—.

La teoría de las catástrofes no se ocupa de la evolución de los sistemas en el sentido común y corriente de la palabra. Por el contrario, su trabajo es el de describir las discontinuidades en la evolución de los fenómenos. En esto, por un camino distinto, consiste exactamente el estudio de la evolución, en palabras de S. J. Gould. Gould denomina a este estudio de la evo-

lución como estudio de la discontinuidad “teoría de los equilibrios puntuados”⁷.

Esta descripción de la discontinuidad en la evolución de los fenómenos se lleva a cabo a partir de la identificación de siete catástrofes de dimensión inferior o igual a cuatro: las catástrofes elementales. Al respecto, vale mencionar que en matemática, cuando se habla de dimensión(es) se corresponde con el concepto físico de espacio(s) y se refiere a lo que en las ciencias sociales se designa como variable(s). Una dimensión 4, por ejemplo, es un espacio de cuatro dimensiones, que se designa como \mathbf{R}^4 . La matemática clásica de corte y origen euclidiano, y que prevaleció de manera absoluta hasta el siglo XIX-XX, es matemática de tres dimensiones: \mathbf{R}^3 , a saber, aquellas dimensiones que dan lugar a, y se condensan como, geometría analítica. Pero, claramente, no es ésta la única forma de geometría^{8, 9}. En otras palabras, mediante las siete catástrofes

⁶ Esta interpretación de la teoría de las catástrofes se remonta al año 1974 cuando tiene lugar el debate que sostuvo Thom con E. Zeeman —el gran divulgador, por así decirlo, de la teoría—. Véase, el artículo de Thom que da inicio al debate en Zeeman (1978), pág. 615, en donde se sostiene la misma idea según la cual esta teoría es un lenguaje, un método.

⁷ Al respecto, véase el muy sugestivo artículo de Álvarez (2006) (referido aquí con permiso del autor).

⁸ Al respecto, véase L. Mlodinow, *Euclid's Window. The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyperspace*, New York, The Free Press, 2001. De acuerdo con Mlodinow, la historia de la geometría se concentra en cinco figuras: Euclides, cuyo núcleo —centro más sensible— es el quinto postulado (el de las paralelas), Descartes, y el origen de la latitud y la longitud, Gauss, y la revolución de los espacios curvos, Einstein y la idea de la modificación del espacio como modificación de la materia y la velocidad de la luz y, finalmente, Witten, con el desarrollo de la teoría de (super)cuerdas y el hiperespacio. Es notable, en el libro de Mlodinow, la omisión a Mandelbrot. Éste sería un buen motivo para una consideración aparte. Quizás los primeros cuatro motivos son (suficientemente) conocidos. De otro lado, acerca del hiperespacio, cfr. M. Kaku, *Hiperespacio. Una odisea científica a través de universos paralelos, distorsiones del tiempo y la décima dimensión*, Barcelona, Crítica, 1996. Una observación técnica puntual: uno de los problemas matemáticos más apasionantes no resueltos hasta el momento es el de la teoría Kaluza-Klein que es, en realidad, una conjetura.

⁹ Es importante traer aquí la siguiente consideración de Thom acerca del *significado* de la geometría: “En

elementales, de manera puntual, pero más genéricamente gracias a las catástrofes en general, tenemos una teoría, un lenguaje, un método, una alternativa de mirar al mundo, relativamente a toda la historia de la humanidad occidental —de la ciencia, la filosofía y la cultura occidentales, consiguientemente—, mediante los cuales tenemos, por primera vez, por así decirlo, de frente, sin miramientos los *paisajes del cambio*.

La teoría de las catástrofes fue formulada por R. Thom, pero en una situación análoga a la que tuvo lugar con la teoría del caos, descubierta originariamente por E. Lorenz, la denominación *teoría de las catástrofes* no fue la obra de Thom, sino de E. C. Zeeman gracias, especialmente, al estudio adelantado por éste, enfocado en las aplicaciones de la teoría a diversos ámbitos, siendo uno de los más conspicuos y provocadores, al mismo tiempo, de los que dedicara a las relaciones entre teoría de las catástrofes y ciencias sociales (Zeeman, 1978)¹⁰.

3. CATÁSTROFES Y COMPLEJIDAD: UNA RELACIÓN SUTIL

La teoría de las catástrofes tiene, de comienzo a fin, un alcance y una envergadura filosóficos —o bien, desde otro punto de vista (que sin embargo no cabe desarrollar aquí), un inmenso significado político—: se trata de un *programa de investigación*¹¹. El título que adopta este programa es, en palabras de Thom, el del estudio de la morfología; esto es, el problema fundamental es el mismo que ha constituido a la razón humana desde la noche de los tiempos: el estudio, la explicación y la comprensión del *orden*. Sólo que el orden es visto por parte de Thom como la existencia y variación de *formas*. Precisamente por ello el topos de su pensamiento es la geometría y el hilo conductor la topología: “la sucesión de formas”, dice Thom (1997: 25).

En el sentido común y corriente de la palabra, la ciencia es un conjunto de hipótesis a partir de las cuales se pueden

este sentido, se podría decir que la *geometría es una magia que da resultado*. Me gustaría enunciar lo inverso: toda magia, en la medida en que da resultado, ¿no es necesariamente una geometría?” (Thom, 1997: 29).

¹⁰ Con respecto al origen y desarrollo de la teoría del caos, véase el libro clásico de J. Gleick, *Caos, la creación de una ciencia*, Barcelona, Seix Barral, 1988. Podría escribirse un artículo pequeño y muy sugestivo mostrando los paralelismos entre el libro de Gleick y la interpretación y las aplicaciones que hace Zeeman de la teoría de las catástrofes, mostrando al mismo tiempo las coincidencias y los contrastes.

¹¹ Como es sabido, el concepto de “programa de investigación” o también, “programa de investigación científico” encuentra sus raíces en la obra de I. Lakatos. He comenzado a trabajar las razones que permiten comprender a un programa de investigación como un programa político en C. E. Maldonado, *CTS + P Ciencia y tecnología como políticas públicas y sociales*, Bogotá, Universidad Externado de Colombia-Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, 2005.

deducir consecuencias nuevas que son experimentalmente verificables. Pues bien, es exactamente en este sentido que *no* debe entenderse a la teoría de las catástrofes y, en consecuencia, tampoco en este sentido cabe entender el programa de investigación que inaugura Thom.

No se puede y no se debe formalizar todo. Tal es la primera condición para trabajar con catástrofes. Pero ello no impide que sí se puedan y se deban elaborar modelos para explicar las formas, los cambios y las discontinuidades. El punto de interés aquí estriba en la distinción conceptual, filosófica y metodológica entre *formalización* y *modelización*. Esta distinción todavía nos ocupará más adelante en este texto.

Creo, sin embargo, que contra Álvarez (2006), la relación más apropiada con Thom es la de la obra de S. Kauffman. Existe un doble vínculo fundamental para que ello sea así. De un lado, la deuda que de manera directa tiene Thom con Waddington —uno de los pocos biólogos teóricos, quien, por lo demás, escribe el prólogo al libro de *Estabilidad estructural y morfogénesis*—. Y de otra parte, la deuda de Kauffman y de Thom con respecto a D'arcy Thompson, el padre de las biomatemáticas, quien con su libro de 1942 *On Growth and Form*, sienta las bases, antes incluso de la Gran Síntesis, acerca del problema fundamental entre evolución y desarrollo embriológico (o embrionario); justamente, el tema de la morfogénesis. Pues bien, a partir de y en relación con Thompson, el problema de la morfogé-

nesis se establece como la tensión entre la estructura y la función. Thom resalta el papel de la función sobre la estructura, y propone un lenguaje y una serie de funciones —las catástrofes—, para establecer de qué manera éstas alteran o determinan una estructura —estabilidad—.

En efecto, el mundo exterior se presenta como una mezcla de determinismo e indeterminismo, o también, de azar y de necesidad e, incluso una tercera manera de decirlo, como una mezcla de simplicidad y de complejidad.

“En cualquier circunstancia hay que distinguir, para decirlo con el *Manual* de Epicteto, aquello que depende de nosotros” (*ta eph hemin*) y lo que “no depende de nosotros” (*ta ouk eph hemin*). Si esta distinción es importante desde el punto de vista de la ética, no lo es menos para la ciencia. Pues bien, el pensamiento matemático ha llevado hasta el extremo, por así decirlo, esta distinción: lo que depende de nosotros es la variable, el argumento de la función... Lo que no depende de nosotros es el determinismo rígido que, una vez asignado de una vez por todas un determinado valor a la variable, determina el correspondiente valor de la función...” (Thom, 1993: 70).

La tarea básica de la empresa científica consiste exactamente en esto: en producir modelos con la ayuda de la idea de función. Esto es, producir modelos con la ayuda de un cierto número de fenómenos que hasta la fecha no se habían podido “modelizar” de manera suficientemente fiel. De este modo, la complejidad de la

ciencia –y, por lo tanto, el progreso mismo de la ciencia¹²–, consiste exactamente en la capacidad para elaborar modelos de lo no modelizable. Cuando la ciencia logra esto, tenemos una teoría –es decir, una teoría científica, o mejor aún, una *buena* teoría científica–. La complejidad de la ciencia no es, sencillamente otra que su capacidad para elaborar y desarrollar una teoría científica que explique lo hasta ese momento inexplicable. Pues bien, este constituye al mismo tiempo el corazón y todo el sentido de la teoría de las catástrofes y a ello dedica Thom su principal libro: *Estabilidad estructural y morfogénesis: Ensayo de una teoría general de los modelos* (1972).

El tipo de complejidad que interesa a Thom de manera particular es la complejidad semántica. Sin embargo, es fundamental precisar que ello no significa que los problemas del mundo o los problemas de la ciencia sean meras cuestiones de palabras –por ejemplo, problemas de uso del lenguaje–, como sí lo cree la filosofía analítica. Pero sí, como es efectivamente el caso en Thom, la complejidad del mundo coincide, plano por plano, con la complejidad misma del lenguaje, entonces es perfectamente factible trazar nexos entre la

teoría de las catástrofes y la lógica difusa (*fuzzy logic*), si bien el propio Thom tanto como Zeeman no dan muestras evidentes de conocer esta lógica. Sencillamente, Thom propone –debido, desde luego, a su formación en álgebra y en topología–, que cuando pensamos en información la consideremos como una forma. El resultado de esta transformación no sólo nos conduce hacia la capacidad de pensar geoméricamente, sino además, y fundamentalmente, nos pone frente a frente con la idea de complejidad topológica: esto es, con la complejidad topológica de una forma (Thom, 1997: 139 y sigs.). Esta complejidad se expresa y se vehicula al mismo tiempo como lenguaje, y es en el lenguaje como el cambio se hace evidente o se desvanece y oculta.

La primera condición para entender esta noción de complejidad es de naturaleza filosófica y tiene que ver con un tema álgido debatido a partir de comienzos del siglo XX y que se relaciona con la naturaleza de las matemáticas. La pregunta de la que se ocupan, por ejemplo, personajes tan distintos entre sí como Wittgenstein, Russell, Whitehead y Hilbert, tiene que ver con la fundamentación de las mate-

¹² La relación entre complejidad y progreso del conocimiento científico es, en realidad, una extrapolación de una idea seminal de Kuhn de acuerdo con la cual, una forma específica –e incluso la forma más importante– de progreso en el conocimiento son las revoluciones científicas. No sólo, por definición, toda revolución implica novedad y avance en el conocimiento, sino también –contra lo que a simple vista pudiera pensarse que sería mayor simplicidad–, mayor complejidad de la ciencia. Con respecto a la idea de progreso del conocimiento véase, además de la obra misma de Kuhn –notablemente, la *Estructura de las revoluciones científicas*–, P. Kitcher, *El avance de la ciencia*, México, UNAM, 2001. El desarrollo y la justificación de esta extrapolación mencionada forma parte de una investigación que adelanto actualmente en el CIPE de la Universidad Externado de Colombia y que próximamente estará concluida.

máticas. Puntualmente dicho: ¿las matemáticas son una ciencia? La respuesta que se dio al debate fue contundente y a muchos matemáticos, incluso hoy en día, no convence enteramente: las matemáticas no son una ciencia, sino un lenguaje; a saber, se trata de aquel lenguaje cuyo mérito excepcional, relativamente a cualquier otro tipo de lenguaje humano y natural, consiste en la *compresión*. Sencillamente, las matemáticas no consisten en ecuaciones, fórmulas y teoremas, como usualmente se cree, y como la historia de la matemática clásica efectivamente lo sostuvo. Por el contrario, las matemáticas emplean o recurren a ecuaciones, fórmulas y teoremas como la forma de comprimir aquello que, de otro modo, necesitaría de muchas palabras para ser expresado. La necesidad y la genialidad de las matemáticas radica en la comprensibilidad de la información. Las matemáticas constituyen, esencialmente, un lenguaje. En esta historia la contribución de A. Turing constituye un hito necesario.

El pensamiento matemático —que para Thom consiste fundamentalmente en la geometría y el álgebra— se refiere a espacios y relaciones —no a objetos, en el sentido físico de la palabra—, de todos los movimientos posibles, repetidos, liberados de toda coacción biológica (Thom, 1997: 326-327). Gracias a esta libertad con respecto a las coacciones —no restricciones ni constricciones—, biológicas, el ser humano es capaz de crear estructuras aritméticas y algebraicas.

“Sin embargo, estaríamos errados en pensar que todo rastro de origen biológico desapareció del pensamiento matemático. Es llamativo el hecho de que la mayor parte de nuestros espacios, hasta en matemática pura, tengan un punto de origen, imagen residual del cuerpo propio del observador en estado continuo de apresamiento respecto del ambiente” (Thom, 1997: 327-328).

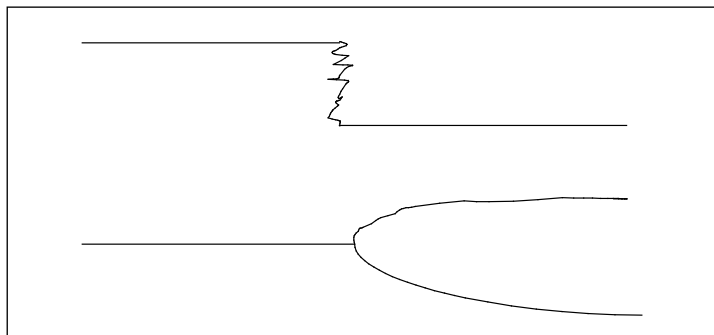
Una consideración epistemológica fundamental surge ante la mirada reflexiva: “Una teoría no local no puede llegar a considerarse científica en un sentido estricto: conocemos —y actuamos— tan sólo localmente” (Thom, 1993: 129). Exactamente en esto consiste la especificidad y la contribución de la teoría de las catástrofes, a saber: en el estudio del cambio como acontecimiento local, con orígenes locales de carácter puntual. Sencillo: el cambio siempre se origina en un espacio local, aun cuando tenga resonancias de amplio y largo alcance, usualmente impredecibles. Como se aprecia, desde este punto de vista existe una sólida consistencia entre la postura epistemológica, no ontológica, de Thom con respecto al cambio, y el reconocimiento de que el cambio se origina siempre como un acontecimiento local y no genérico o universal. La universalidad del cambio, si cabe expresarlo así, consiste esencialmente en la(s) resonancia(s) del mismo. Pues bien, el estudio de esta(s) resonancia(s) define exactamente a la teoría de las catástrofes.

El carácter sorprendente de los hechos aparece sólo a condición de que tengamos

una teoría que atraiga la atención sobre ellos y que, por consiguiente, al mismo tiempo que los hace visibles, los explica. Mejor aún: es gracias a que los explica que los hace visibles. La ciencia, dicho de una manera genérica, consiste en hacer visible lo invisible o también, desde otro punto de vista, significativo lo inefable.

En otras palabras, el mérito de la teoría de las catástrofes en particular –y de las ciencias de la complejidad en general–, radica en suministrarnos esta teoría –digamos, de manera más prudente, este lenguaje, esta visión, esta metodología– para hacer visible el cambio y el orden al mismo tiempo, o mejor incluso, el orden como resultado del cambio.

El siguiente diagrama ilustra el razonamiento precedente:



En la primera parte del diagrama encontramos una inflexión; en la segunda, una bifurcación. Se trata de dos

representaciones diferentes de un mismo fenómeno: la evolución no puede ni debe ser entendida en el sentido de continuidad, linealidad o progreso sin más. Por el contrario, el estudio de la evolución consiste exactamente en las discontinuidades y las rupturas entre un momento lineal y el siguiente a través de y gracias, precisamente, a las inflexiones. O también, el estudio de la dinámica evolutiva de un fenómeno consiste en el estudio de las bifurcaciones que rompen con el determinismo del fenómeno o sistema de estudio¹³. Quisiera subrayar el contraste: el debate de fondo consiste en si se le adscriben caracteres ontológicos o simplemente epistemológicos a las bifurcaciones y a las inflexiones. Thom toma partido por una posición bien precisa.

4. UNA VEZ MÁS: MATEMÁTICAS Y REALIDAD

Las matemáticas contemporáneas –notablemente, aquellas que reconocen una deuda con respecto a la topología, y que se concentran en problemas propios de los sistemas dinámicos–, han hecho el descubrimiento de formas y estructuras tales como los teselados, las geometrías líquidas y cuasilíquidas, la cohomología, es decir, el estudio de las formas y de las estructuras imposibles. Dicho de forma

¹³ Para una comprensión más amplia de esto, cfr. Maldonado, C. E., “Complejidad y evolución”, en: Maldonado, C. E., (editor), *Complejidad: ciencia, pensamiento, aplicaciones*, Bogotá, Universidad Externado de Colombia (en prensa).

radical, se trata de sistemas, fenómenos y comportamientos matemáticos que suceden en dimensiones mayores que \mathbf{R}^4 : \mathbf{R}^5 , \mathbf{R}^6 , y más. Las matemáticas no se ocupan simple y llanamente de lo real, que fue la pretensión a partir de los pitagóricos, y su extensión gracias a Platón y la historia subsiguiente. Una expresión clara de esto es el famoso *dictum* de Galileo según el cual la naturaleza está escrita en caracteres matemáticos. Justamente, la física sólo es tal cuando es reconocida como física-matemática. El cenit de esta idea se condensa en la obra de Newton, con la cual la física se consagra como ciencia y que marcará todos los desarrollos de la mecánica posterior: la teoría de la relatividad, la física y la mecánica cuánticas y hasta la física nuclear. Pues bien, contra la comprensión usual que transmite la historia, pensar matemáticamente no es, sencillamente, otra cosa que pensar en estructuras y formas según si éstas se conservan o sufren modificaciones.

Vale la pena atender a la siguiente situación. La tesis que plantea Thom o, mejor aún, el programa de investigación que es la teoría de las catástrofes, se sitúa dentro de la mejor tradición científica de la humanidad en el sentido de que Thom plantea una tesis universalista del lenguaje; o en otras palabras, la teoría de las catástrofes es, en cuanto metodología y lenguaje para el estudio del cambio y de las discontinuidades, una teoría que se sitúa del lado del universalismo (cfr. Thom, 1990: 205 y sigs.). Precisamente

en este sentido es importante conjugar dos cosas: el universalismo que es la idea de una teoría de los modelos, y el hecho de que los modelos se fundan en descripciones particulares y locales que tienen lugar siempre en cada caso y en función de la perspectiva del observador. La inteligencia del observador consiste, exactamente, en la conjugación de ambas escalas.

Ahora bien, el interés—incluso el énfasis—de Thom en la complejidad semántica no es, en realidad, sino un caso particular de un espectro mucho más amplio y fundamental. La teoría de las catástrofes trabaja al mismo tiempo con referencia a dominios como las matemáticas, la física (y la química), la biología, ciencias humanas (en particular la psicología y la sociología), tanto como en la lingüística, la semántica y la filosofía (Zeeman, 1978: 615 y sigs.; Thom, 1997); pero es igualmente cierto que trabaja estos dominios como ilustraciones de una morfología constitutiva de campos medios, escalas plurales y diversas, y catástrofes. “*Lo propio de toda forma, de toda morfogénesis, consiste en expresarse mediante una discontinuidad de las propiedades del medio*” (Thom, 1997: 33).

Es necesario aquí atender al caso propio de las ciencias sociales—o ciencias sociales y humanas—, pues por conexidad, lo que se diga aquí vale igualmente, por extensión, para la economía y las finanzas. Las ciencias sociales nacieron a la luz de la física newtoniana, después suyo y con complejo de inferioridad respecto a su

propio estatuto científico y epistemológico. La razón para esta circunstancia estuvo siempre en el aparato matemático desplegado por la física, y con ella y desde ella, para cualquier otra disciplina que aspirara a un estatuto de científicidad. La ciencia se dividió en dos: ciencia dura –porque tenía un aparato matemático sólido–, y ciencia blanda –porque carecía de dicho aparataje–. Esta historia es suficientemente conocida y ha sido, adicionalmente, revisada y criticada de manera muy amplia. En sentido estricto, las ciencias sociales se sitúan en algún lugar intermedio, y en un movimiento oscilatorio o intermitente, entre dos extremos: de un lado, la ciencia *par excellence*, que es ciencia de corte newtoniano; y de otra parte, las humanidades¹⁴. Pues bien, como un coletazo, por así decirlo, de esta situación, en la más reciente clasificación internacional de las ciencias y las profesiones elaborado por la UNESCO, la economía ha dejado de pertenecer al cuerpo de las ciencias sociales y humanas, para constituir un capítulo propio denominado *ciencias contables*, al lado de las finanzas, la contaduría y buena parte de la administración.

Esta consideración tiene que ver con el tema, amplio y sólido, de las relaciones entre realidad y clasificación de las cien-

cias. Puntualmente dicho, la ciencia es:

- Un lenguaje.
- Una forma de organización del conocimiento.
- Una forma de organización social.
- Un camino (*método*) y una técnica.
- Una forma de acción sobre el mundo.

Dicho de una manera puntual: la ciencia no es ya hoy una cosmovisión ni una apropiación. La ciencia, en el mundo contemporáneo no es algo que se *sabe*; por el contrario, la ciencia es, hoy, algo que se *hace*, y se hace haciendo *investigación*. Pues bien, esta investigación puede ser comprendida como una matriz que supone, en un eje una serie de medios técnicos, la determinación de la disciplina que se considere o en la que se esté interesado, y una ciencia que tiene una filosofía subyacente; y en el otro eje, se trata de la consideración de los modos de universalidad o localidad de la experiencia científica o investigativa.

Quisiera retomar aquí una matriz semejante elaborada por Thom para situar, de manera precisa, el *topos* de la teoría de las catástrofes en la organización, en la economía y en el espacio actual del conocimiento, tal y como él los concibe:

¹⁴ Cfr. I. Wallerstein, *Las incertidumbres del saber*, Barcelona, Gedisa, 2005.

		Medios técnicos	Disciplina	Filosofía subyacente
Objeto global (Mundo)	Estudio global	Matemáticas Simetrías Grupos Prolongación Analítica (Extrapolación)	Física fundamental	Demiurgia
Objeto global (Mundo) Tierra	Estudio local	Observación Taxonomías Modelizaciones cuantitativas (Aproximaciones)	Física macroscópica Ciencias descriptivas: Geología (Macro)biología	
Objeto local	Estudio global	Caja negra Modelizaciones diferenciables o cualitativas	Teoría general de los sistemas Teoría de las catástrofes	Hermenéutica
Estudio local	Estudio local	Análisis microscópico	Biología molecular	Reduccionismo

(Thom, 1990: 235)

Como se observa el acento, naturalmente, se encuentra en el cruce entre la cuarta columna y la cuarta fila, que es en donde se sitúa, propiamente, la teoría de las catástrofes. La teoría de las catástrofes se ocupa de objetos locales a fin de establecer la resonancia global de los mismos, y la filosofía que le subyace es hermenéutica. En otros términos, esta teoría es –quiere ser– una contribución en los procesos apasionantes y complejos de los seres humanos por interpretar la realidad en la que viven: una realidad

cambiante, homeomorfa (topológicamente hablando), y en la que la regla son las discontinuidades (= dinámicas) de las formas y los espacios.

Se impone, sin embargo, relativamente a la matriz presentada, una observación importante. Sugiero que es, adicionalmente, al interior de esta matriz como cabe situar el debate sostenido por Thom contra Prigogine.

De acuerdo con la matriz anterior, la teoría de las catástrofes ocupa una misma dimensión conjuntamente con la teoría

general de sistemas¹⁵. En la lectura de la obra de Thom no es muy exacto qué entiende este autor por esta teoría, pero sí se puede inferir, sin dificultad alguna, que se refiere a la cibernética y la cibernética de segundo orden. Así, la teoría de las catástrofes comparte con la teoría general de sistemas dos rasgos fundamentales: destaca el papel del observador y quiere ser una teoría universalista a partir de modelos cuyas raíces se encuentran en cada fenómeno o sistema particular. Para decirlo en lenguaje de filosofía de la lógica: la teoría de las catástrofes y la teoría general de sistemas son coherentistas.

En contra de Prigogine o quizás debido justamente a Prigogine, Thom se negó a conocer y a aceptar las ciencias de la complejidad o el estudio de los sistemas complejos no-lineales o también, de los sistemas complejos adaptativos, tres maneras distintas de decir una misma y sola cosa. Históricamente hablando, Thom llega hasta la teoría de sistemas, y no alcanza —o no quiere (?)— hacer el tránsito hacia la termodinámica del no-equilibrio. Creo que en Thom esta situación es comprensible y puede ser estudiada y justificada sin mayores dilaciones. Pero considero que hoy, varios lustros después,

no solamente sí puede transitarse por las ciencias de la complejidad montados, por así decirlo, sobre la teoría de las catástrofes. Vale subrayar esta tesis de tipo histórico: la teoría general de sistemas es anterior a las ciencias de la complejidad, y sobre la base del tema/problema del progreso del conocimiento, las ciencias de la complejidad constituyen un nivel más avanzado del estudio de la dinámica de los sistemas que la cibernética de primer orden y la cibernética de segundo orden.

El diálogo Thom-Prigogine está compilado en (Pomian, 1990) con varios artículos de un intenso, abierto y perspicaz debate —entre otros autores; pero fueron ellos los autores más destacados—, en torno a las relaciones entre el determinismo y la complejidad. El artículo de Thom —“*Halte au hasard - silence au bruit*”—, es un ataque directo y fuerte contra la concepción de Prigogine de que el orden es el resultado del azar (*Order out of Chaos*; tal es el nombre que, por lo demás, recibió la traducción al inglés del libro de Prigogine escrito conjuntamente con I. Stengers, *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*)¹⁶. Para Thom, las fluctuaciones y bifurcaciones pueden y deben ser estudiadas, pero sobre el trasfondo de

¹⁵ Para una comprensión al mismo tiempo más amplia y sólida de la teoría de sistemas, véase G. Midgley (2003).

¹⁶ Cfr. C. Emmeche, S. Koppe & F. Stjernfelt, «Explaining Emergence : Towards an Ontology of Levels», *Journal for General Philosophy of Science*, vol. 28, 1997, págs. 83-119; reimpresso en: G. Midgley (ed.), *Systems Thinking*, Vol. I, “General Systems Theory, Cybernetics and Complexity”, Sage Publications, 2003, págs. 141-170.

un espacio de fases estructurado. Simple: la morfología –dinámica y variación de formas– debe ser estudiada sobre el trasfondo de la estabilidad estructural.

Thom no pudo –¿o no quiso?– avanzar hacia el estudio de los sistemas dinámicos no-lineales. Pero con Thom, y contra Thom, podemos entonces hacer uso de la hermenéutica. De este modo, no queda forzado realizar el paso siguiente, que Thom mismo no dio: el tránsito, o mejor aún, el puente, entre la teoría de las catástrofes, más allá de la teoría general de sistemas, hacia las ciencias de la complejidad. Al fin y al cabo, la hermenéutica –en contraste con la exegética–, consiste en pensar lo impensado en un pensador, y lograr hacerle decir lo que no dijo, sin que haya violencia interpretativa.

5. A MANERA DE CONCLUSIÓN

Hay tres maneras distintas de aproximarnos al problema, fundamental y sensible del cambio, la sorpresa y la irreversibilidad. Se trata de la teoría del caos, de las catástrofes y del estudio de los sistemas de complejidad creciente.

En palabras de Thom, toda la filosofía de la teoría de las catástrofes consiste en el siguiente reconocimiento:

“Se trata de una teoría hermenéutica que, ante cualquier dato experimental, se esfuerza por elaborar el objeto matemático más simple que pueda generarlo. Desde este punto de vista, resulta claro que la teoría de las catástrofes no coincide,

como se tiende a pensar, con el elenco de las siete catástrofes elementales; quien piensa así, reduce, de hecho, toda la teoría de las catástrofes a lo que yo llamo la teoría de las catástrofes elementales” (Thom, 1993: 72).

Las siete catástrofes elementales son: la catástrofe de pliegue, de cúspide, de cola de milano y mariposa –cuyo origen de denominación y eje de conducta se funda en los rasgos visuales de las conductas que describen–, la catástrofe umbílica hiperbólica, umbílica-elíptica y umbílica parabólica –que son aquellas que tienen dos ejes de conducta, y cuya denominación, como se aprecia fácilmente, no se funda en un rasgo visual sino en una propiedad matemática-. Estas catástrofes elementales tienen distinto número de factores de control según si el sistema de estudio depende de una sola condición variable o factores de control, o de varios. Los orígenes de las catástrofes elementales se remonta, sin dificultad, a Einstein cuando éste sostenía que no sólo pensamos con conceptos, sino además, y esencialmente, con imágenes.

Ahora bien, en la historia de las matemáticas modernas, la teoría de las catástrofes sufrió un fracaso o derrota. Si bien durante un momento produjo un entusiasmo e impacto enormes, pronto fueron criticadas y relegadas a lugares secundarios. En las facultades y escuelas de matemáticas, el estudio de la teoría de las catástrofes ocupa, en realidad, un momento breve dentro del capítulo –ese sí definitivamente mucho más relevan-

te— de la topología. La razón de la derrota de la teoría de las catástrofes se debió a la identificación *cuando se la reduce a las siete catástrofes elementales* que fue lo que históricamente sucedió. En contraste, la teoría triunfante fue el caos, que explica la dinámica de una forma mucho más económica, pues emplea únicamente tres conceptos —relativamente a los siete sugeridos por Thom—: atractores fijos, periódicos y extraños. Sin embargo, si se atiende a la observación citada de Thom, esto es, se tiene en cuenta a la *filosofía* de la teoría de las catástrofes, entonces esta teoría puede ser —aún—, inmensamente valiosa.

Quisiera subrayar la siguiente doble circunstancia: de un lado, la derrota matemática de la teoría de las catástrofes no elimina el reconocimiento explícito por parte del propio Thom, acerca de la no identificación ni reducción de la teoría de las catástrofes con las siete catástrofes elementales, que fue, por lo demás, la responsabilidad de Zeeman. Desde este punto de vista, el estudio de las catástrofes, *a condición de esta no reducción*, sigue siendo fructífero y sugestivo en muchos aspectos. Y de otra parte, precisamente, el valor de la teoría de las catástrofes se encuentra —*por tanto*, es decir, a raíz de la derrota que sufrió como consecuencia del reduccionismo mencionado—, en el plano epistemológico y filosófico. Creo que desde esta doble perspectiva, la teoría de las catástrofes sigue siendo una teoría explicativa de gran envergadura. Es en esta dirección que me he movido y que,

sugiero, cabe avanzar también en el futuro. Al fin y al cabo el reto fundamental en el mundo y en la ciencia contemporánea es ese, a saber: la formulación y desarrollo de *teoría*, esto es, de *pensamiento*, y no ya simple y llanamente la aplicación de modelos y teorías ya existentes. La producción de teoría no es, sencillamente, otra cosa que la producción de realidades. En esta exactamente radica la dignidad del conocimiento, no simplemente, como es aceptado de manera tradicional, en la validación de realidades —por definición, preexistentes—.

Finalmente, a manera de coletilla, pero en estricta relación de consecuencia con la observación que precede: Pensar matemáticamente es análogo a pensar filosófica e incluso políticamente: pensar de modo matemático es, esencialmente, pensar en estructuras según si esas estructuras se conservan o se transforman. La manera más rápida de decirlo, en este contexto, es que el contenido político a que se hace referencia tiene que ver con políticas económicas; o financieras. Que es, por así decirlo, la cara oculta de la teoría económica y financiera normal.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. R. (2006). “Thom, Gould y la tradición morfológica en la ciencia”. Artículo inédito. León: Universidad de León
- Gleick, J. (1988). *Caos. La creación de una ciencia*. Barcelona: Seix Barral.

- Maldonado, C. E. (2005). "Ciencias de la complejidad: ciencias de cambios súbitos", en: *Odeón. Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas*, págs. 85-125.
- Maldonado, C. E. (Ed.). (2006). *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia (en asocio con la Universidad Nacional de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Distrital, Universidad Pedagógica Nacional).
- Midgley, G., (ed.). (2003). *Systems Thinking*. Vol. I: General Systems Theory, Cybernetics and Complexity; Vol. II: Systems Theories and Modelling; Vol. III: Second Order Cybernetics, Systemic Therapy and Soft Systems Thinking. SAGE Publications.
- Pomian, K. (Ed.). (1990). *La querelle du déterminisme*. Paris : Gallimard.
- Thom, R. (1990). *Esbozo de una semiófica. Física aristotélica y teoría de las catástrofes*. Barcelona: Gedisa (edición original en francés: 1988).
- , (1993). *Parábolas y catástrofes. Entrevista sobre matemática, ciencia y filosofía*. A cargo de G. Giorcello y S. Moroni. Barcelona: Tusquets (original en francés: 1983).
- , (1993). *Prédire n'est pas expliquer*. Paris: Flammarion (2ª Ed.).
- , (1997). *Estabilidad estructural y morfogénesis. Ensayo de una teoría general de los modelos*. Barcelona: Gedisa (2ª Ed.) (original en francés: 1977).
- Woodcock, A., Davis, M. (1994). *Teoría de las catástrofes*. Madrid: Cátedra.
- Zeeman, E. C. (1978). *Catastrophe Theory. Selected Papers 1972-1977*. Reading, MA: Addison-Wesley (2ª Ed.).